

上委第 12 号

大規模スポーツ施設建設計画に伴う三宅浄水場系水源影響調査業務委託

報 告 書

平成 25 年 10 月

株式会社 キンキ地質センター

目 次

1	業務概要	- 1 -
2	業務実施基本方針	- 5 -
3	調査方法	- 7 -
3.1	機械ボーリング	- 7 -
3.2	標準貫入試験	- 9 -
3.3	電気検層	- 11 -
3.4	地下水観測孔設置	- 13 -
3.5	現場透水試験	- 16 -
3.6	地下水流向流速測定	- 18 -
3.7	水質試験	- 21 -
3.8	地下水観測（自記水位計）	- 24 -
4	既往資料の収集	- 26 -
4.1	地形・地質概要	- 26 -
4.2	水質概要	- 31 -
4.3	過年度業務の整理	- 33 -
5	調査結果	- 41 -
5.1	ボーリング調査・電気検層・地下水観測孔設置結果	- 41 -
5.2	現場透水試験結果	- 56 -
5.3	地下水流向流速測定結果	- 58 -
5.4	水質試験結果	- 80 -
5.4.1	イオン分析結果	- 82 -
5.4.2	水質試験結果	- 89 -
5.5	地下水位観測結果	- 91 -
6	考察・検討	- 100 -
6.1	調査地の地盤構成	- 100 -
6.1.1	地質構成	- 100 -
6.1.2	水理地質構成	- 104 -
6.2	水質試験結果を利用した地下水流動状況の検討	- 120 -
6.3	水位観測結果を利用した第2帯水層上部層の地下水流動状況の検討	- 129 -
6.4	水位変動の関係について	- 147 -
6.5	水位観測結果を利用した第1帯水層の地下水流動状況の検討	- 162 -
6.6	第1帯水層と第2帯水層との水位の関係について	- 169 -
6.7	第2帯水層上部層の流速の検討	- 172 -
6.8	調査結果のまとめ	- 179 -
6.9	設計・施工上の留意点	- 183 -

巻末資料

- ・ボーリング柱状図
- ・電気検層・観測孔柱状図
- ・電気検層
- ・現場透水試験
- ・地下水流向流速
- ・水質試験
- ・水源の運転水位・揚水量換算結果
- ・水位観測データ（2013/5/20～2013/5/24）
- ・水位観測データ（2013/7/1～2013/8/7）
- ・水位観測データ（河川水位その他）
- ・記録写真

1 業務概要

- (1) 業務名 : 上委第 12 号
大規模スポーツ施設建設計画に伴う三宅浄水場系水源影響調査業務委託
- (2) 業務場所 : 京都府亀岡市保津町地内
- (3) 履行期間 : 自) 平成 25 年 3 月 22 日
至) 平成 25 年 10 月 31 日
- (4) 発注者 : 亀岡市
担当部署 上下水道部 水道課 計画係
- (5) 業務目的 : 大規模スポーツ施設建設計画に伴い、建設用地に近接する亀岡市上水道事業三宅浄水場系水源（取水井）への影響が懸念される。本業務は、水源への影響を評価するための基礎資料を得る目的で行った。具体的には、大規模スポーツ施設建設工事の施工着手前の段階で地下水の現状を把握し、基礎工法の検討に際し、極力水源井戸への影響が回避可能な資料を入手する事にある。
- (6) 業務内容 : ポーリング（φ 86mm、鉛直下方） 10 箇所 計 197.5m
標準貫入試験 10 箇所 計 198 回
現場透水試験 10 箇所 計 10 回
電気検層 10 孔
地下水流向流速測定 10 孔
地下水観測孔設置（VP50） 10 孔
水質試験 19 検体
イオン分析（14 項目） 17 検体
イオン分析（3 項目） 9 検体
自記水位計設置・撤去 10 孔
地下水観測（10 孔） 1 ヶ月
解析等調査（既存資料の収集・現地調査、資料整理取りまとめ・断面図等の作成、総合解析とりまとめ、測定データ解析） 1 式
打合せ協議 3 回
成果品（報告書製本 3 部、電子成果品） 1 式
(実施数量の詳細は表 1.1 参照)
- (7) 請負者 : 株式会社キンキ地質センター
京都市伏見区横大路下三栖里ノ内 33-3
TEL 075-611-5281（代表）
FAX 075-602-7113
- 主任技術者 片野 慎二（RCCM：土質及び基礎）
担当技術者 永山 喜義
(RCCM：土質及び基礎・上水道及び工業用水道)
担当技術者 山岸 準一（地質調査技士）
社内照査担当 高松 博司（RCCM：土質及び基礎）

表 1.1 実施数量一覧表

ボーリングNo.		No.L1	No.L2	No.L3	No.L4	No.L5	No.R1	No.R2	No.R3	No.R4	No.R5	合計	設計 数量	増減
機械ボーリング (鉛直下方)	調査深度 (m)	調 査 深 度 (m)												
		粘性土・シルト												
		砂・砂質土												
		礫混り土砂												
標準貫入試験 (回)	φ 86mm (m)	合 計												
		粘性土・シルト												
		砂・砂質土												
		礫混り土砂												
孔内検層	電気検層 (孔)	合 計												
		地下水流向流速測定 (孔)												
		現場透水試験 (回)												
		無孔管 VP50(本) (4m両端ネジ加工)												
観測孔設置	※1 スクリン管 VP50(本) (4m両端ネジ加工、開口率15%)	2.5												
		※1 スクリン管 VP50(本) (4m両端ネジ加工、開口率15%)												
※2 水質試験 (検体)	ヒ素、鉄、マンガン	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	10	9
※3 イオン分析 (検体)	塩化物イオン、硫酸イオン、硝酸イオン、ナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオン、炭酸水素イオン、炭酸イオン、pH、電気伝導率	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	10	7
※4 イオン分析 (検体)	炭酸水素イオン、炭酸イオン、pH													
足場仮設 (箇所)	平坦足場	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	8	10	-2
	傾斜地足場 (15° 以上 30° 未満)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	2
現場内小運搬	特装车運搬	運搬距離 (m)												
		100m以下 (箇所)												
		100m超500m以下 (箇所)												
水位観測	自記水位計設置・撤去 (孔)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10	0
	水位観測・データ取込 (ヶ月/10孔)	1												

※1 実際の長さは1本あたりの2mであったため、0.5単位で計上した。
 ※2 水質試験：ボーリング地点の他、京都府No.1、京都府No.2、京都府No.3、京都府No.4、京都府No.5、京都府No.6、亀岡市No.1、亀岡市No.2、亀岡市No.3地点で実施し、合計19検体。
 ※3 イオン分析：ボーリング地点の他、第3水源、第5水源、第6水源、第7水源、第8水源、桂川、曹我谷川で実施し、合計17検体。
 ※4 イオン分析：ボーリング地点の他、京都府No.1、京都府No.2、京都府No.3、京都府No.4、京都府No.5、京都府No.6、亀岡市No.1、亀岡市No.2、亀岡市No.3地点で実施し、合計9検体。

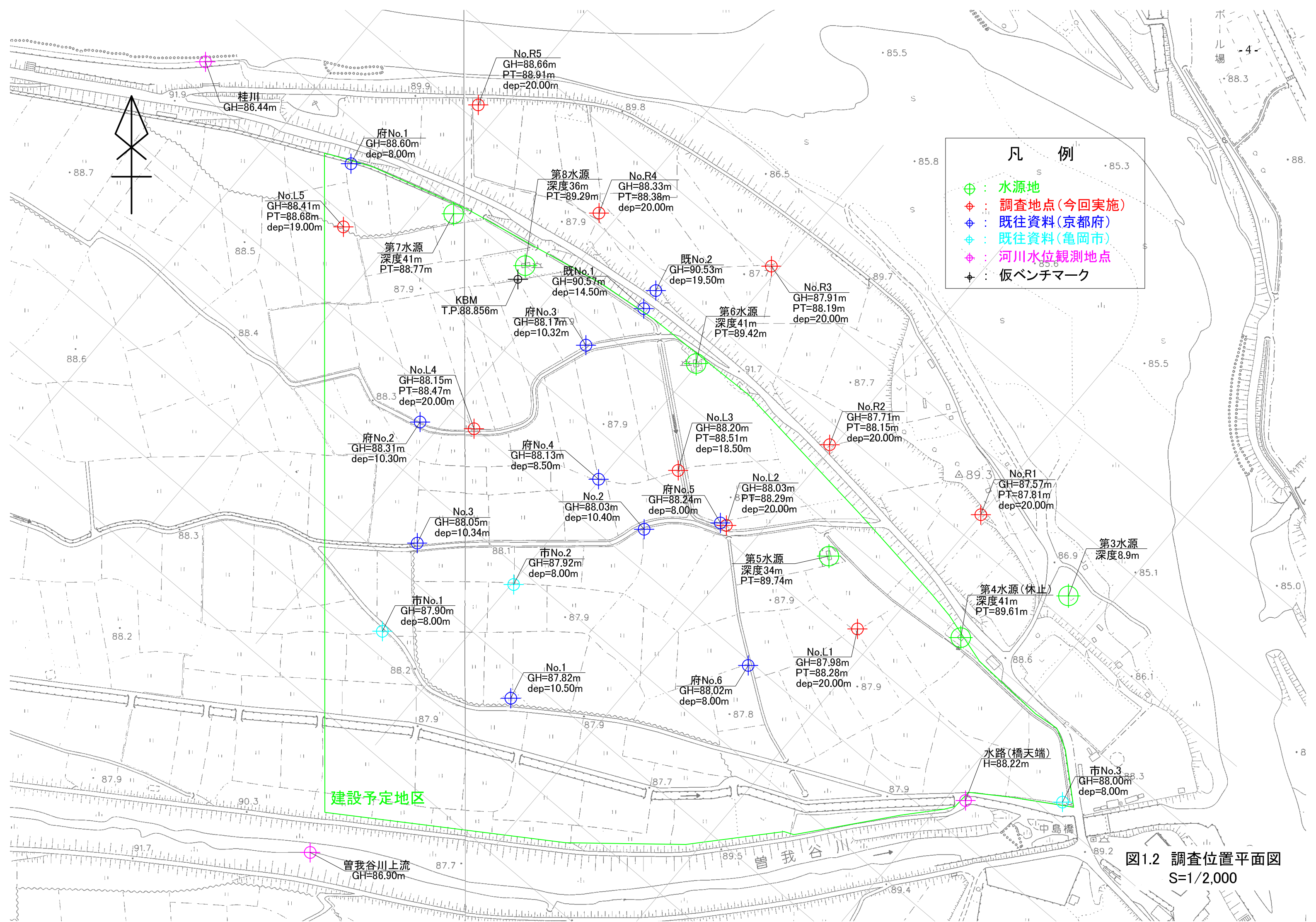


図1.2 調査位置平面図
S=1/2,000

2 業務実施基本方針

本業務は、亀岡市の「地質・土質調査業務共通仕様書」、本業務特記仕様書、日本工業規格（JIS）、地盤工学会編「地盤調査の方法と解説」等に基づいて実施した。

本業務の目的は、大規模スポーツ施設の建設に伴い、懸念される亀岡市水道施設（上水道水源）への影響を評価するための基礎資料を得ることにある。本業務においては、帯水層の土層構成や分布状況、地下水の流動状況や水質の状況を把握する事に主眼をおいた調査を行った。

調査は取水帯水層となる第 2 帯水層上部層に主眼をおいた調査で、調査の掘止め深度は 18.5～20.0m とした。

ボーリング調査は、深度 1m ごとに標準貫入試験を実施することとし、掘削完了後に電気検層を行い、VP50 を挿入して地下水観測孔とした。観測孔を仕上げるに際しては、第 1 帯水層からの流入水を遮水することに留意した。

観測孔は、自記水位計の設置、地下水の流向流速測定、水質試験・イオン分析用の採水等に使用した。

各作業の実施方針を表 2.1 に示す。

採取した標準貫入試験試料は、標本箱に整理して提出した。

調査結果については、試料の観察および掘進状況、孔内水位、標準貫入試験結果、電気検層結果等をボーリング柱状図に整理すると共に、他の試験結果についても妥当性の評価を加え、影響評価への検討資料として報告書にまとめた。

得られたデータから水理地質断面図、地下水の流動状況を整理した平面図等を作成し、設計・施工上の留意点の整理を行った。

表 2.1 各作業に対する実施方針

試験項目	実施方針
機械 ボーリング	・以下に示す標準貫入試験、現場透水試験、電気検層、地下水流向流速測定、地下水観測孔設置、水質試験、自記水位計観測等の原位置試験や観測孔の設置ならびに地質状態の把握を目的とする。 ・地下水状況を把握することを目的とした。 ・第2帯水層下部層まで掘削しないことに留意した結果、掘削深度は18.5～20.0mとなった。 ・掘削孔は、最終的に観測孔に仕上げた。
標準貫入試験	・第2帯水層上部層までの試料採取とN値の測定のために実施した。 ・採取試料から土質の判定、地層分類を行った。 ・N値から土の締まり具合の判定を行い、各ボーリングデータとの比較から、地層の分布状況を把握するための資料とした。
電気検層	・第2帯水層上部層までの比抵抗値の測定のために実施した。 ・測定結果から地層分類を行った。 ・各ボーリングデータとの比較から、地層の分布状況を把握するための資料とした。
地下水流向 流速測定	・取水層と評価する第2帯水層上部層の地下水流動部の流向と流速の把握のために実施した。
現場透水試験	・第2帯水層上部層の地下水頭、透水係数の把握のために実施した。
地下水観測孔 設置	・現場透水試験、地下水流向流速測定、水質試験、自記水位計観測のために設置。 ・VP50を使用し、第2帯水層上部層にスクリーン管（開口率20.2％）を設置した。 ・第1帯水層の地下水が下層の第2帯水層への流入を遮水するような構造とした。 ・工事に対するモニタリング孔としての使用も可能である。
水質試験	・第2帯水層上部層の水質の把握を目的とし、イオン分析と水質試験を行った。 ・イオン分析からヘキサダイアグラムを作成し、地下水の分類を行った。 ・水質試験は飲料用としての適合性の把握のために実施した。試験項目は、既往データで不適合項目として挙げられていたヒ素、鉄、マンガンを対象とした。
自記水位計 観測	・第2帯水層上部層の水位変動を把握するために実施した。 ・測定間隔10分の連続観測を行った。 ・第2帯水層の地下水等高線図の資料を得るため実施した。 ・水源井戸揚水時の水頭変化を把握する資料を得るために実施した。

3 調査方法

3.1 機械ボーリング

ボーリング調査は、監督職員と協議を行い実施可能地点を選定し「図 1.2 調査位置平面図」に示した 10 地点で実施した。

ボーリング資機材は、調査地付近まではトラックで運搬し、現場内においてトラック搭載の小型移動式クレーン及び小型特装車を使用して調査地点への運搬やボーリング機械の据え付けを行った。

据付に際しては、鋼製パイプ等を用いて水平な作業架台を仮設した。

ボーリングはオイルフィード（油圧式）ロータリーボーリングマシンを用い、鉛直下方に削孔した。VP50 仕上げの観測孔とするため、削孔径は $\phi 86\text{mm}$ とした。

掘削には、シングルチューブコアバレル及びメタルビットを使用した。

地下水を確認するまでは原則的に無水掘りを行った。地下水位確認後は、削孔時のスライム排除および孔壁の自立のため泥水を循環させた。

ボーリング調査期間中は、毎日作業前の孔内水位の測定を行った。

これらの掘進状況は正確に作業日報に整理・記録した上、ボーリング柱状図にまとめた。ボーリング柱状図作成にあたっては、(財)日本建設情報総合センターの「ボーリング柱状図作成要領(案)」に従って土質区分を行い、色調、相対密度、相対稠度及び記事とともに所定の柱状図様式にまとめた。

ボーリング作業概要図を図 3.1.1 に示す。

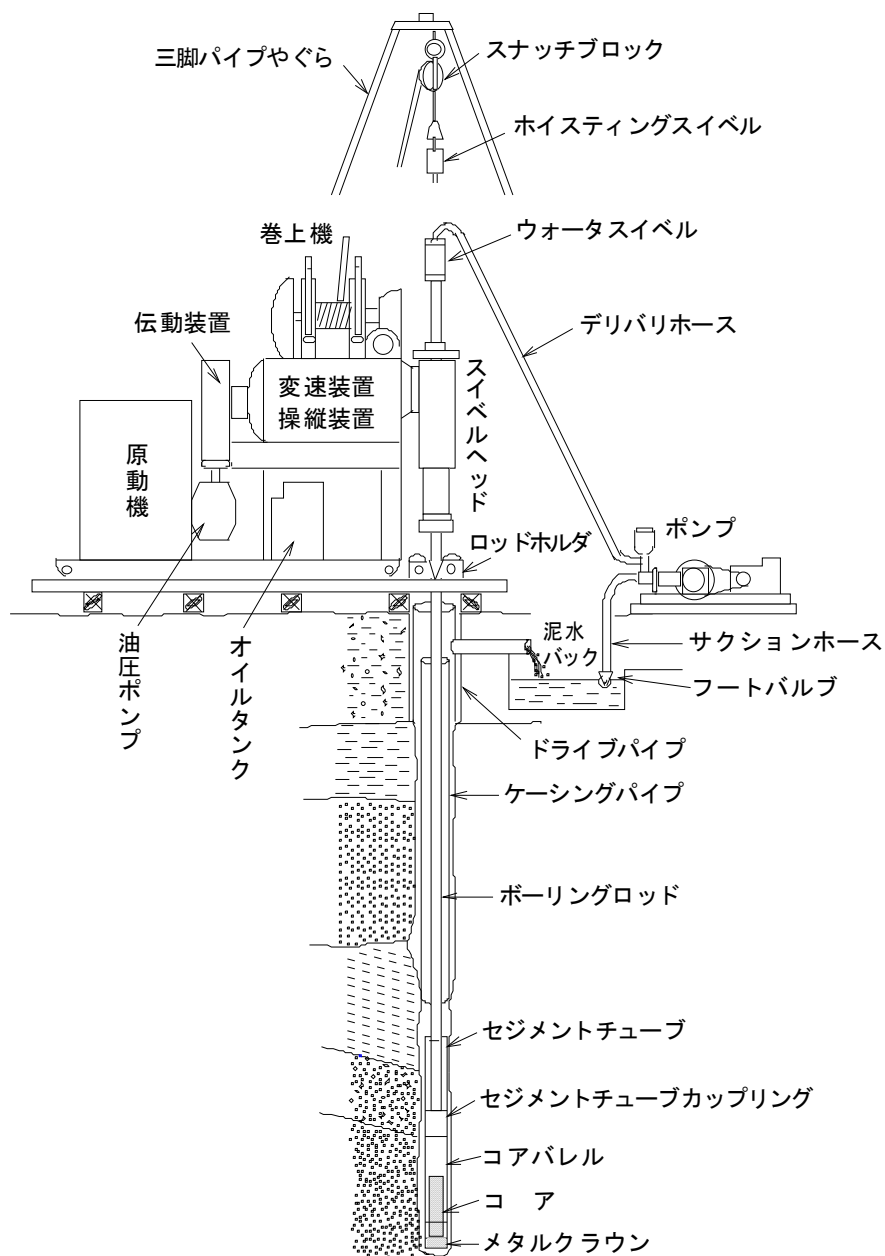


図 3.1.1 ボーリング作業概要図

新編ボーリングポケットブック (P-26) ; 全国地質調査業協会連合会 (1983)

3.2 標準貫入試験

本試験は、ボーリング孔を利用して、原位置における地盤の硬軟・締まり具合を調査するものであり、試験法は、JIS A 1219「標準貫入試験方法」に準拠した。

試験は、原則として 1m 掘削するごとに 1 回ずつ行った。

試験の内容は、質量 $63.5 \pm 0.5\text{kg}$ のハンマーを $760 \pm 10\text{mm}$ の高さから自由落下させ、ロッドを介して孔底の SPT（標準貫入試験用）サンプラーを地中に打ち込み、150mm の前打ち完了後に貫入深さが 300mm に達するまでの打撃回数、すなわち N 値を測定するものである。

50 回の打撃でも貫入深さが 300mm に達しない場合には試験を打ち切り、その貫入量を記録する。また、N 値を測定する本打ちに関しては、貫入量 100mm ごとの打撃回数も記録する。

標準貫入試験用サンプラーで採取した採取試料は速やかに観察し、ビンにつめて標本箱に整理する。観察結果や N 値、掘進状況等を整理し、柱状図にとりまとめた。

N 値による土性判定の目安を下表に示す。

表 3.2.1 N 値と砂の相対密度の関係 (Terzaghi and Peck)

N 値	相対密度 (Terzaghi and Peck)	現場判別法
0～4	非常に緩い (very loose)	鉄筋が容易に手で貫入
4～10	緩い (loose)	ショベル(スコップ)で掘削可能
10～30	中位の (medium)	鉄筋を 5ポンドハンマで打込み容易
30～50	密な (dense)	同上、30cm 程度貫入
>50	非常に密な (very dense)	同上、5～6cm 貫入、掘削につるはし必要、打込み時金属音

注) 鉄筋は $\phi 13\text{mm}$

地盤調査の方法と解説：地盤工学会(2013)(P305)

表 3.2.2 N 値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係 (Terzaghi and Peck)

N 値	q_u (kN/m ²)	コンシステンシー
0～2	0.0～ 24.5	非常に柔らかい
2～4	24.5～ 49.1	柔らかい
4～8	49.1～ 98.1	中位の
8～15	98.1～196.2	硬い
15～30	196.2～392.4	非常に硬い
30～	392.4～	固結した

地盤調査の方法と解説：地盤工学会(2013)(P308)

3.3 電気検層

電気検層は、地盤の比抵抗値を把握するため、ボーリング孔を利用して実施した。

今回使用する主な機材を表 3.3.1 に示す。

測定は、地上の測定装置に接続されたプローブをボーリング孔内に挿入し、ウインチや手送り等により、静かにプローブを下降または上昇させ、プローブに内蔵された電極間の電流と電位差を連続的に測定し、見かけ比抵抗値を求めた（図 3.3.1）。

最も一般的な 2 極法（ノルマル法）の電極配置を図 3.3.2 に示す。B,N は無限遠と見なすことができるよう、ボーリング孔から 20m 以上離して設置する。A-B 間に電流 I を流すと A 電極を中心に円電界が生じる。このとき、A から距離 a 離れた地点 M の電圧 V は A から半径 a の範囲の地盤の影響を受けた値となり、地盤の比抵抗は $\rho = 4\pi \times a \times (V/I)$ で表される (a : プローブの電極間隔 < A と M の間隔 >)。したがって、電極間隔が長いほどより孔壁から中の地盤の影響を受けた値となる。

今回使用する機材は、 $a=0.25$ 、 0.5 、 1m の 3 通りの電極間隔を同時に測定することが可能となっている。得られた結果（比抵抗値）は、表 3.3.2 に示すように、地層の間隙率、飽和度、間隙水の比抵抗値等の条件が重なり合ったものである。深度方向に連続的に得られた 3 種類の比抵抗値から、深度-比抵抗値曲線を作成し、ボーリング柱状図等のデータと比較することで、地層の層厚分布、挟み層の検出、帯水層の検出、不透水層の判定を行う。

未固結堆積物の場合、比抵抗値の高い層は、礫、砂を多く含む透水性の高い帯水層と判断される。

表 3.3.1 使用機器一覧表

機種	型式	メーカー名
ジオロガー3	MODEL-3970	応用地質(株)
シーブ	MODEL-3891	応用地質(株)
プローブ	MODEL-3174	応用地質(株)
その他	ケーブル、電極棒、おもり、 バッテリー	

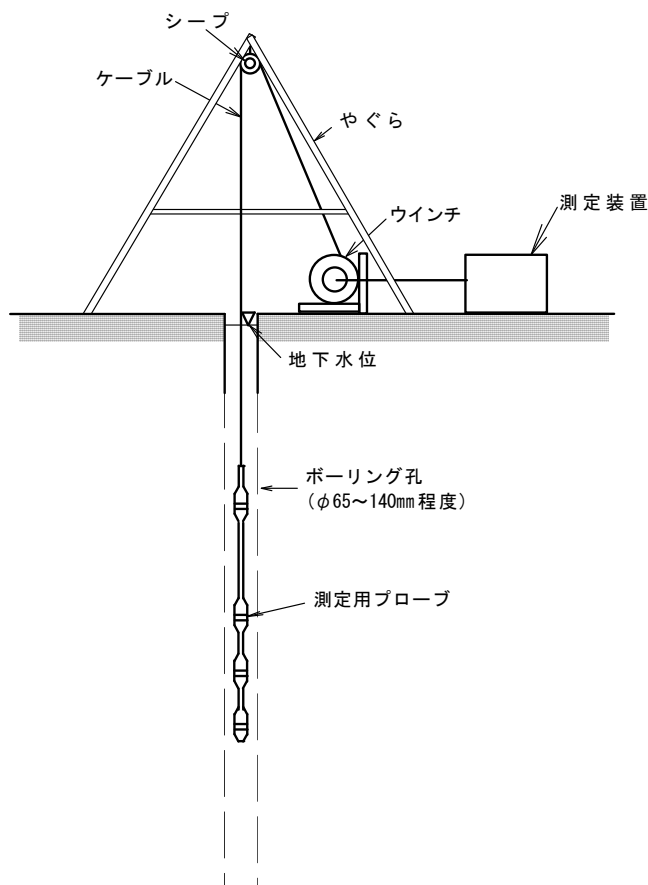


図 3.3.1 電気検層測定装置概念図

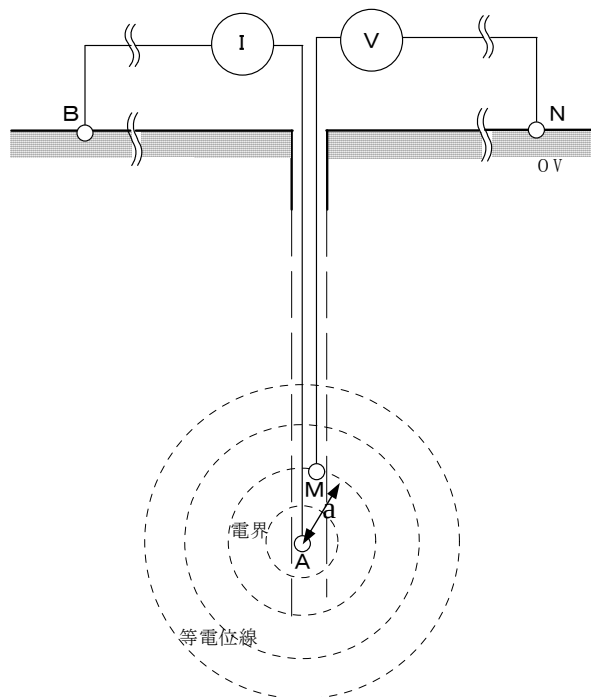


図 3.3.2 電極配置(ノルマル法)

表 3.3.2 地盤の比抵抗に影響を及ぼす要因

要 因		地盤の比抵抗の高低 低い ← → 高い	地盤の関連現象
間隙率	飽和状態	大きい ← → 小さい	風化, 破碎帯
	乾燥状態	小さい ← → 大きい	
飽和度 (間隙率一定)		大きい ← → 小さい	地下水位
体積含水率 (間隙率×飽和度)		大きい ← → 小さい	風化, 破碎帯
粘土鉱物含有量 (導電性鉱物)		多い ← → 少ない	風化, 変質
地下水の比抵抗		低い ← → 高い	塩水楔など
温度 (地温)		高い ← → 低い	地熱, 温水

(財) 災害科学研究所 (2001) : 地盤の可視化と探査技術 (P54)

3.4 地下水観測孔設置

機械ボーリングによって所定の深度（18.5～20.0m）まで掘削終了後、VP50 仕上げの観測孔とした。観測孔は、第2帯水層上部層の透水係数、地下水位、水質、流向流速の測定が可能な構造とした。このため、第2帯水層に有孔管（スクリーン管）を、第1帯水層に無孔管を設置した。

第1帯水層と第2帯水層間の地下水の移動を防止するため、帯水層境界部には、遮水パッカー材（図 3.4.1）とベントナイトペレットを使用してボーリング孔内を遮水した。

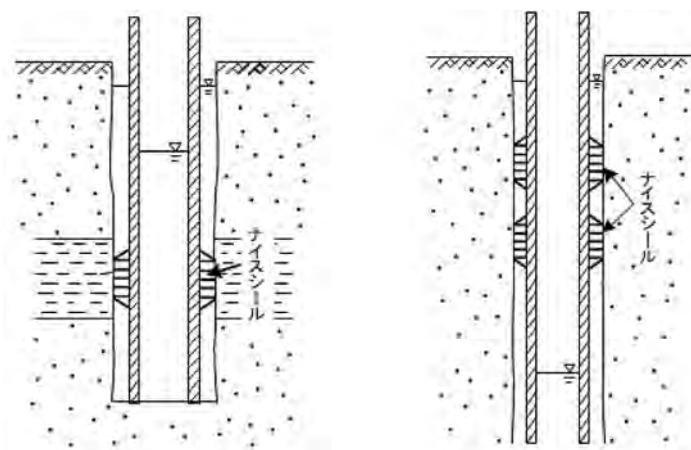
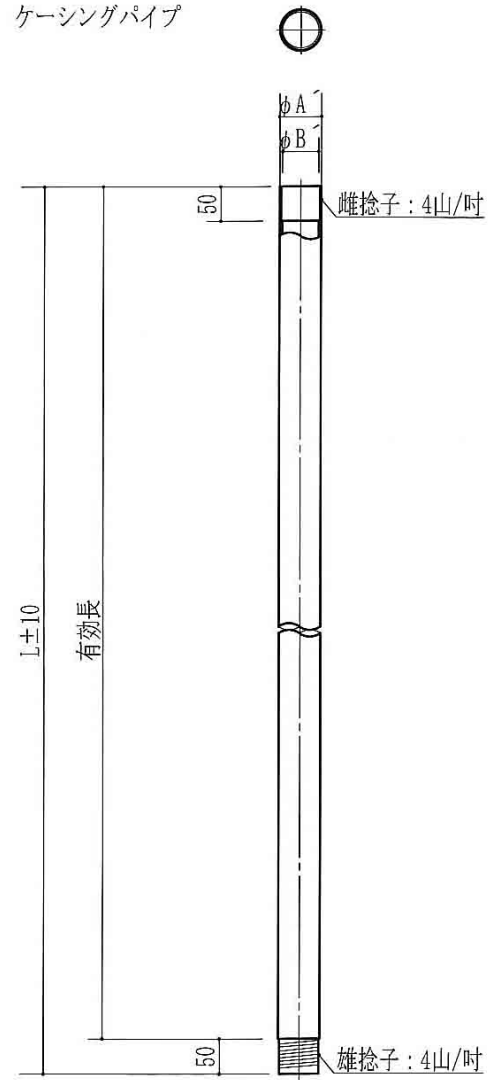


図 3.4.1 遮水パッカー材の概略図

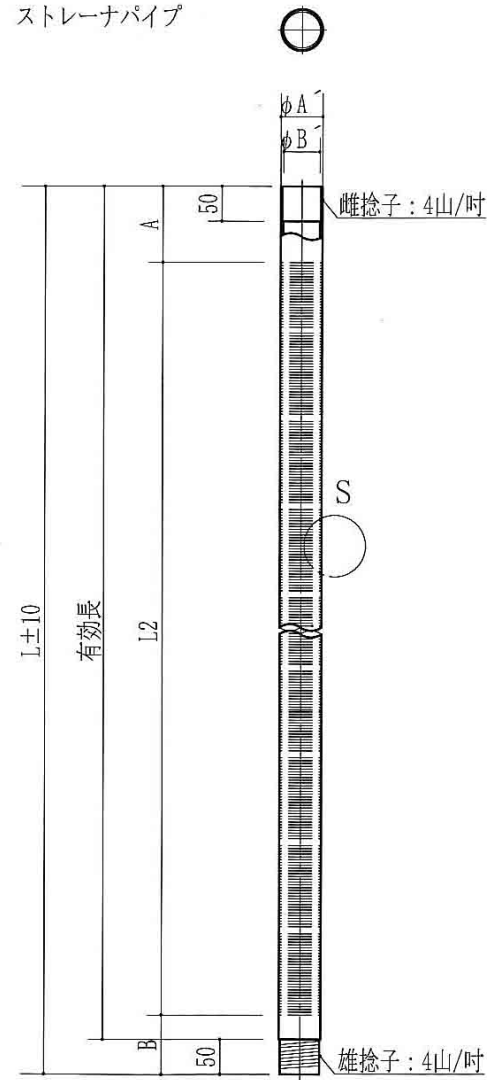
使用する VP 管の構造を図 3.4.2 に示す。スクリーン管の開口率は約 20%である。

観測孔設置後は、孔内の濁水や孔壁に付着している泥壁を取り除くため、孔内洗浄を実施した。洗浄方法は、スワビング法、エアリフト法、エンジンポンプによる揚水法を行った。

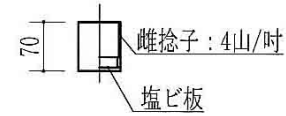
ケーシングパイプ



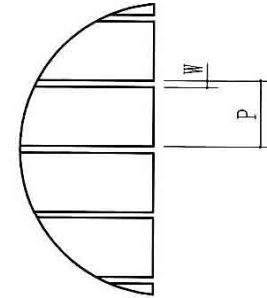
ストレーナパイプ



底蓋 (捻子式)



S スリット部詳細図



JIS K 6742	A' : 外径	Φ60	B' : 概略内径	Φ51
厚み: 4.1 許容差 ±0.8	開口率	20.2%		
W: スリット巾	1.0	P: ピッチ	4	条数
				3条

ケーシング表

	L	有効長	備考
1	4050	4000	

ストレーナ表

	L	有効長	L2	A	B	備考
1	2050	2000	1900	75	75	

図 3.4.2 観測孔構造図

スワビング法は、ケーシング内にピストンの役目をするサージプランジャ（スワブ玉）を挿入し、上下させる（図 3.4.3）。ピストン動作を与えて、水の動揺を大きくしてスクリーン周辺のスケールや砂粒を除去する方法である。

エアリフト方法は、エアコンプレッサで圧縮空気を孔内に送ることにより、孔内の地下水を揚水する（図 3.4.4）。孔内の地下水は、空気を送られる事で比重が小さくなり、周辺の地下水を吸引して、空気と共に地上に噴出する。

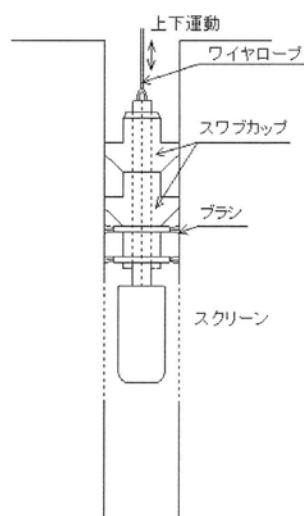


図 3.4.3 スワビング法の概略図
（社）全国さく井協会（2010）：さく井・改修工事標準歩掛資料（P53）

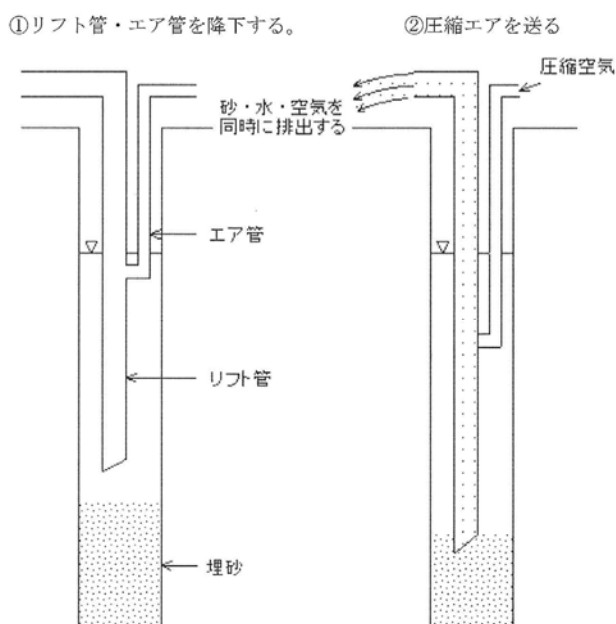


図 3.4.4 エアリフト法の概略図
（社）全国さく井協会（2010）：さく井・改修工事標準歩掛資料（P57）

3.5 現場透水試験

現場透水試験は、地盤工学会基準 JGS1314「ボーリング孔を利用した透水試験方法」で規定されている試験方法に従い試験を実施した。

この試験は、単一のボーリング孔を利用して地盤の透水係数を求めることを目的としている。

試験方法は、大別すると非定常法および定常法に分類される。定常法は、揚水または注水を行い、孔内水位と流量が一定となったときの値を測定して地盤の透水係数を求める方法であり、非定常法は孔内水位を一時的に低下または上昇させ、水位回復の経時変化を測定して透水係数を求める方法である。

今回は、エンジンポンプによる揚水量と孔内水位が一定となった時の値を測定する定常法による試験を行った。試験方法の概要を図 3.5.1 に示す。

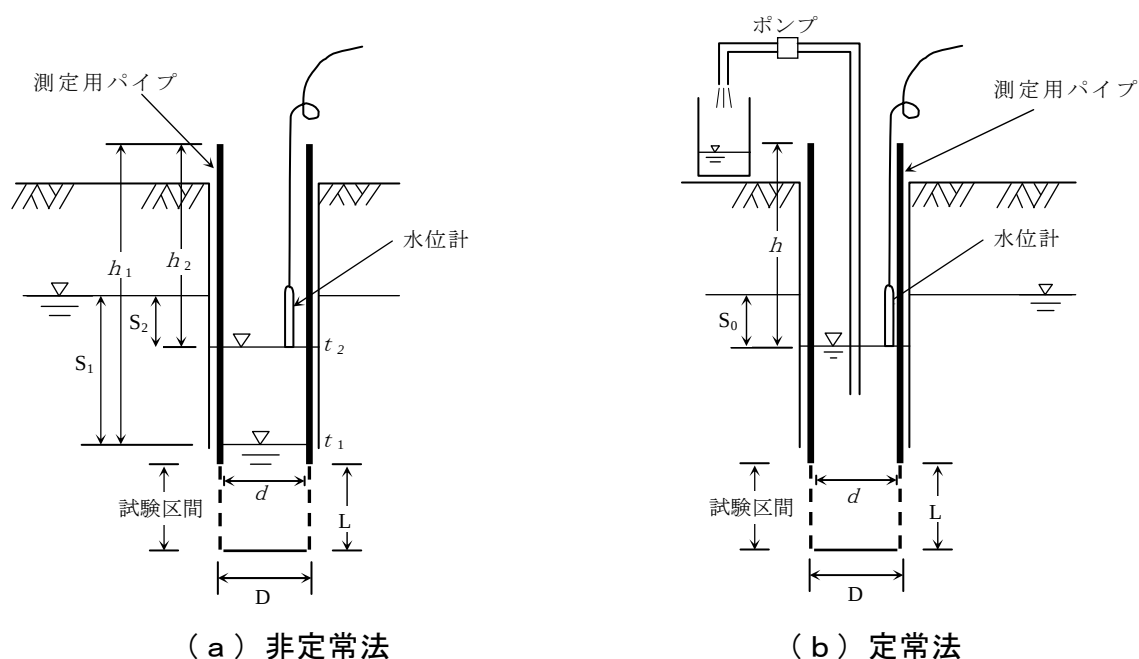


図 3.5.1 試験方法の概要

なお、透水係数は次式により算出するものとする。

<非定常法>

- ・ 不圧地下水の場合

$$k = \frac{(2.3de)^2}{8L} \log \left(\frac{2L}{D} \right) a$$

- ・ 被圧地下水の場合

$$k = \frac{(2.3de)^2}{8L} \log \left(\frac{4L}{D} \right) a$$

<定常法>

- ・ 不圧地下水の場合

$$k = \frac{2.3Q \log(2L/D)}{2 \pi s L} \quad (L/D \geq 4)$$

- ・ 被圧地下水の場合

$$k = \frac{2.3Q \log(4L/D)}{2 \pi s L} \quad (L/D \geq 4)$$

k ; 透水係数 (m/s)

de ; 測定用パイプの内径 (m)

D ; 透水区間(孔)の直径 (m)

L ; 試験区間の長さ (m)

Q ; 揚水流量または注水流量 (cm³/s)

s ; 定常時の水位変動量 (cm)

l ; 試験区間上・下端から帯水層境界面までの距離 (m)

t1,t2 ; 経過時間 (s)

S1,S2 ; t1,t2時の水位差 (m)

a ; log s-t 曲線の直線部の勾配 (1/s)

$$a = \frac{\log(S1/S2)}{t2-t1}$$

3.6 地下水流向流速測定

第 2 帯水層上部層の地下水の流動方向と流速に関する情報を得ることを目的として流向流速測定を実施した。

試験深度は、前項に示した電気検層の結果や標準貫入試験から得られた試料の含水状態から判断した。

今回使用する装置は、単孔式加熱型流向流速計（GFD-3A 型）、プローブ（流向流速計センサー部内蔵）、ノートパソコン、ケーブル、RS-232C 変換ボックス、AC100V 供給電源（DC12V バッテリ）で構成される（図 3.6.1）。プローブ外径は $\phi 40\text{mm}$ 程度（長さ 60cm）で、内径 $\phi 50\text{mm}$ の観測孔内で測定が可能である。



図 3.6.1 流向流速計 GFD-3A の構成図

GFD-3A のセンサー部は、図 3.6.2 に示すように、棒状の小型ヒータ（熱容量 2.4W）を中心部に、その同心円周上に等間隔で 16 個の温度センサー（高精度サーミスタ）を配置した構造になっている。

ヒータを作動させると、サーミスタは地下水温にヒータの昇温分が加わった温度を感知する。地下水流動がない場合には、ヒータによる熱量は同心円状に伝わるので各サーミスタの温度上昇はほぼ等しくなる。しかし、地下水流動がある場合には、上流側は流入してくる地下水によって冷却されるが、ヒータからの熱量は地下水流動によって運ばれるので下流側が加熱される。

このようなサーミスタの温度分布パターンから、流向を決めることができる。

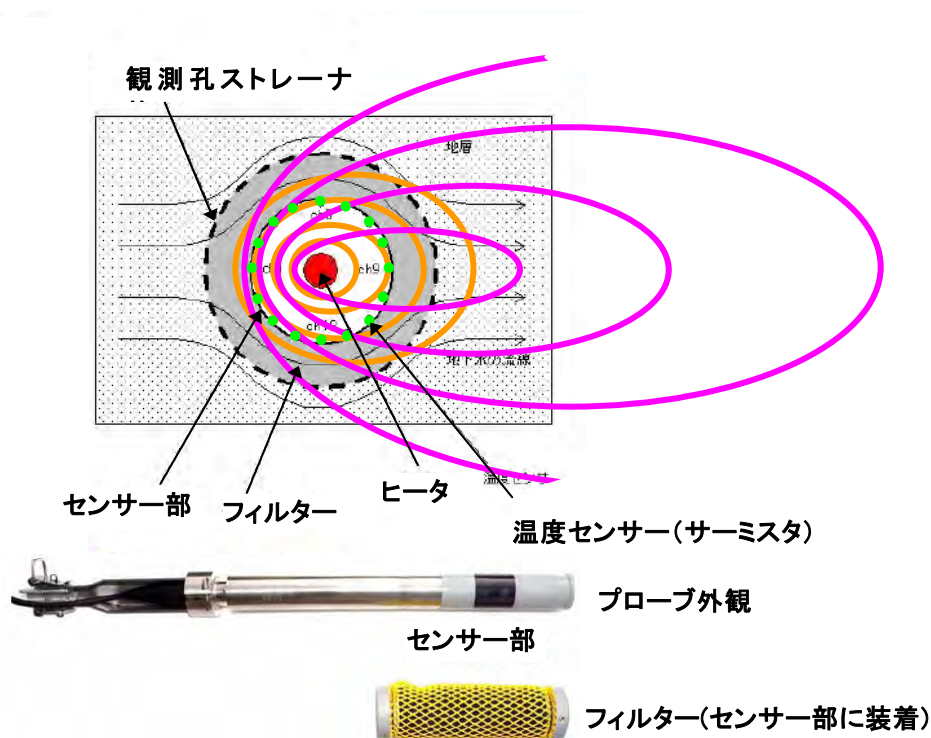


図 3.6.2 GFD-3A センサー部付近の等温度線と流向流速

流速が大きい場合には、小さい場合に比べ、センサー部付近の等温度線は下流側に引き伸ばされた形になる。16 個のサーミスタに現れる流速の大小による温度分布パターンの違いから、土槽実験結果に基づき流速を求めることができる。

GFD-3A の流速は、土槽実験結果の解析からダルシー流速に関係づけされている。図 3.6.3 から、流速が遅い領域 ($U=2 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2}$ cm/s) と、速い領域 ($U=4 \times 10^{-3} \sim 4 \times 10^{-2}$ cm/s) に分けられ、各領域の算定式からダルシー流速 (U) が求められる。なお、GFD-3A の流速測定範囲は $2 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-2}$ cm/s である。

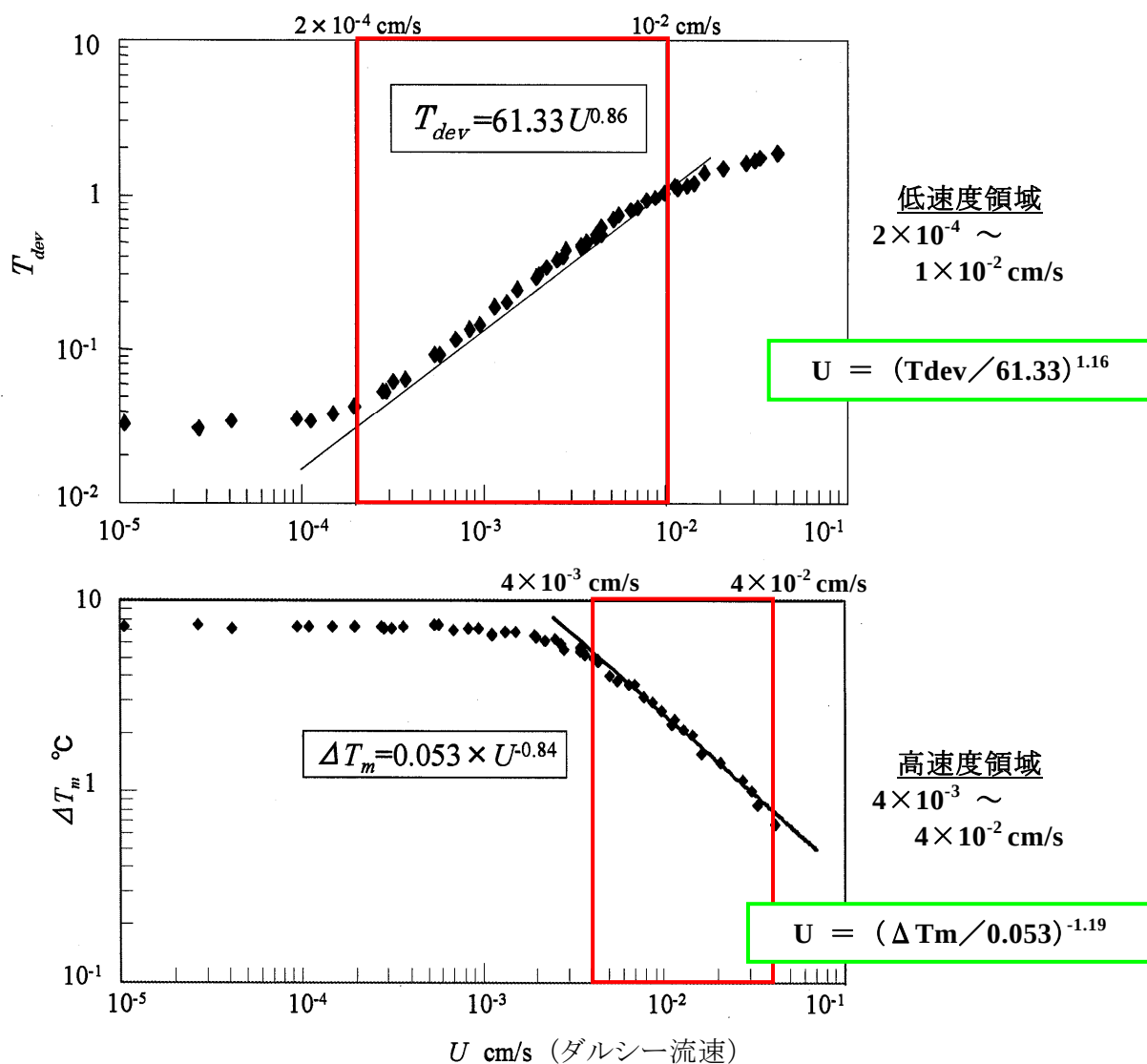


図 3.6.3 土槽実験結果による流速（ダルシー流速）の決定

武田 浩・木村繁男・小綿隆弘・中村正毅・寺島淳一：地下水流動計測プローブの実用化に関する研究．
日本機械学会流体力学部門講演会論文集（2005）．

3.7 水質試験

水質試験とイオン分析に分けて行った。

水質試験は、水道法に基づく水道水質基準に関する厚生労働省省令第 101 号に定められている 50 項目の試験のうち「ヒ素及びその化合物」「鉄及びその化合物」「マンガン及びその化合物」を実施した。今回試験対象の項目は、周辺井戸の水質試験の資料から、基準値以上の結果が得られたものを対象とした。

試験方法は厚生労働省告示第 261 号、386 号で定められた方法に従い、水道法第 20 条に定められた水質検査機関の登録業者で試験を行った。水質基準項目と基準値、試験方法を表 3.7.1 に示す。

イオン分析は、地下水流動状況を考察する目的で行った。

試験は、JIS K 0101「工業用水試験法」等で定められた方法に従い、計量法第 107 条に定められた計量証明の事業の登録業者で試験を行った。試験項目と試験方法を表 3.7.2 に示す。

試験値は、当量濃度 (me/L) に換算し、図 3.7.1 のようなヘキサダイアグラムを作成する。この図形の配列、分布から組成の変化を把握し、流動状況を解釈する。また、当量濃度での各イオンの割合 (me%) からトリリニアダイアグラム (図 3.7.2) を作成し、水質区分を行う。水質区分から地下水の流動経路の推定を行うことが可能であり、以下のように解釈される。

I : アルカリ土類炭酸塩「Ca (HCO₃)」型 : 河川水や浅い地下水

II : アルカリ炭酸塩「NaHCO₃」型 : 淡水性の被圧地下水

III : アルカリ土類非炭酸塩「CaSO₄、CaCl₂」型

IV : アルカリ非炭酸塩「Na₂SO₄、NaCl」型 : 海水、化石塩水、
温泉、抗内水

表 3.7.1 水道水質基準項目と試験方法

観 点	No.	検 査 項 目	分 類	基 準 値	厚労省告示第261号及び386号		
					指定試験方法 (番号)	試験 番号	試験方法
人 の 健 康 に 影 響 を 与 え る 項 目	1	一般細菌	微生物	100個/ml以下	1	1	標準寒天培地法
	2	大腸菌		検出されない事	2	2	特定酵素基質培地法
	3	カドミウム及びその化合物	重金属	0.003mg/l以下	3,4,5,6	3	フレイムレスー原子吸光度計による一斉分析法
	4	水銀及びその化合物		0.0005mg/l以下	7	4	フレイムー原子吸光度計による一斉分析法
	5	セレン及びその化合物		0.01mg/l以下	3,6,8,9	5	誘導結合プラズマ発光分光分析装置による一斉分析法
	6	鉛及びその化合物		0.01mg/l以下	3,5,6	6	誘導結合プラズマ質量分析装置による一斉分析法
	7	ヒ素及びその化合物		0.01mg/l以下	3,6,10,11	7	還元気化ー原子吸光度法
	8	六価クロム化合物		0.05mg/l以下	3,4,5,6	8	水素化物発生ー原子吸光度法
	9	シアン化物イオン及び塩化シアン	無機物質 消毒副生成物	0.01mg/l以下	12	9	水素化物発生ー誘導結合プラズマ発光分光分析法
	10	硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	無機物質	10mg/l以下	13	10	水素化物発生ー原子吸光度法
	11	フッ素及びその化合物		0.8mg/l以下	13	11	水素化物発生ー誘導結合プラズマ発光分光分析法
	12	ホウ素及びその化合物		1.0mg/l以下	5,6	12	イオンクロマトグラフーポストカラム吸光度法
	13	四塩化炭素	有機物質	0.002mg/l以下	14,15	13	イオンクロマトグラフ(陰イオン)による一斉分析法
	14	1,4-ジオキサン		0.05mg/l以下	14,15,16	14	パージ・トラップーガスクロマトグラフー質量分析計による一斉分析法
	15	シス-1,2ジクロロエチレン及びトランス-1,2-ジクロロエチレン		0.04mg/l以下	14,15	15	ヘッドスペースーガスクロマトグラフー質量分析計による一斉分析法
	16	ジクロロメタン		0.02mg/l以下	14,15	16	固相抽出ーガスクロマトグラフー質量分析法
	17	テトラクロロエチレン		0.01mg/l以下	14,15	16-2	イオンクロマトグラフ法
	18	トリクロロエチレン		0.01mg/l以下	14,15	17	溶媒抽出ーガスクロマトグラフー質量分析計による一斉分析法
	19	ベンゼン	消毒副生成物	0.01mg/l以下	14,15	18	イオンクロマトグラフーポストカラム吸光度法
	20	塩素酸		0.6mg/l以下	16-2	19	溶媒抽出ー誘導体化ーガスクロマトグラフー質量分析法
	21	クロロ酢酸		0.02mg/l以下	17	20	イオンクロマトグラフ(陽イオン)による一斉分析法
	22	クロロホルム		0.06mg/l以下	14,15	21	滴定法
	23	ジクロロ酢酸		0.04mg/l以下	17	22	滴定法
	24	ジブロモクロロメタン		0.1mg/l以下	14,15	23	重量法
	25	臭素酸		0.01mg/l以下	18	24	固相抽出ー高速液体クロマトグラフ法
	26	総トリハロメタン		0.1mg/l以下	22,24,28,29	25	パージ・トラップーガスクロマトグラフー質量分析法
	27	トリクロロ酢酸		0.2mg/l以下	17	26	ヘッドスペースーガスクロマトグラフー質量分析法
	28	ブロモジクロロメタン		0.03mg/l以下	14,15	27	固相抽出ーガスクロマトグラフー質量分析法
	29	ブロモホルム		0.09mg/l以下	14,15	28	固相抽出ー吸光度法
生 活 利 用 上 支 障 を 及 ぼ す 恐 れ の あ る 項 目	30	ホルムアルデヒド		0.08mg/l以下	19	29	固相抽出ー誘導体化ーガスクロマトグラフー質量分析法
	31	亜鉛及びその化合物	無機物質	1.0mg/l以下	3,4,5,6	30	全有機炭素計測定法
	32	アルミニウム及びその化合物		0.2mg/l以下	3,5,6	31	ガラス電極法
	33	鉄及びその化合物		0.3mg/l以下	3,4,5,6	32	連続自動測定機器によるガラス電極法
	34	銅及びその化合物		1.0mg/l以下	3,4,5,6	33	官能法
	35	ナトリウム及びその化合物		200mg/l以下	3,4,5,20	34	官能法
	36	マンガン及びその化合物		0.05mg/l以下	3,4,5,6	35	比色法
	37	塩化物イオン	その他	200mg/l以下	13,21	36	透過光測定法
	38	カルシウム・マグネシウム(硬度)	無機物質	300mg/l以下	4,5,20,22	37	連続自動測定機器による透過光測定法
	39	蒸発残留物	その他	500mg/l以下	23	38	比濁法
	40	陰イオン界面活性剤	有機物質	0.2mg/l以下	24	39	透過光測定法
	41	ジェオスミン		0.0001mg/l以下	25,26,27	40	連続自動測定機器による透過光測定法
	42	2-メチルイソボルネオール		0.0001mg/l以下	25,26,27	41	積分球式光電光度法
	43	非イオン界面活性剤		0.02mg/l以下	28	42	連続自動測定機器による積分球式光電光度法
	44	フェノール類		0.005mg/l以下	29	43	散乱光測定法
	45	有機物(全有機炭素:TOCの量)		3mg/l以下	30	44	透過散乱法
	46	pH値	その他	5.8以上8.6以下	31,32		
	47	味		異常でない事	33		
	48	臭気		異常でない事	34		
	49	色度		5度以下	35,36,37		
	50	濁度		2度以下	38,39,40,41,42,43,44		

表 3.7.2 イオン分析項目と分析方法一覧表

No.	検査項目	計量単位	計量方法
1	水素イオン濃度	pH	JIS K0101-11
2	電気伝導率	mg/L	JIS K0101-12
3	塩化物イオン	mg/L	JIS K0101-32
4	硫酸イオン	mg/L	JIS K0101-42
5	硝酸イオン	mg/L	JIS K0101-37
6	ナトリウムイオン	mg/L	JIS K0101-47
7	カリウムイオン	mg/L	JIS K0101-48
8	カルシウムイオン	mg/L	JIS K0217
9	マグネシウムイオン	mg/L	JIS K0217
10	炭酸水素イオン	mg/L	衛生試験法 分離滴定法
11	炭酸イオン	mg/L	衛生試験法 分離滴定法

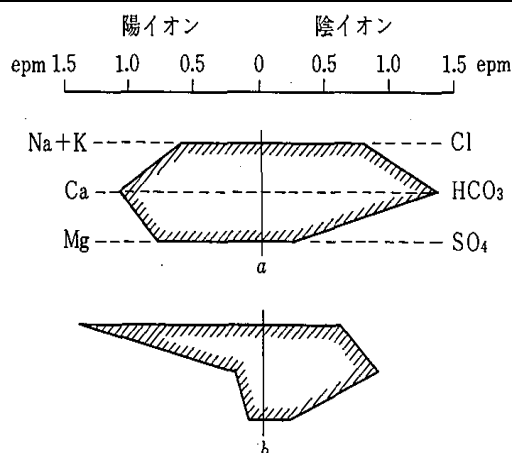


図 3.7.1 ヘキサダイアグラムの表示例

(財)国土開発技術研究センター（1993.3）：地下水調査および観測指針（案）（P213）

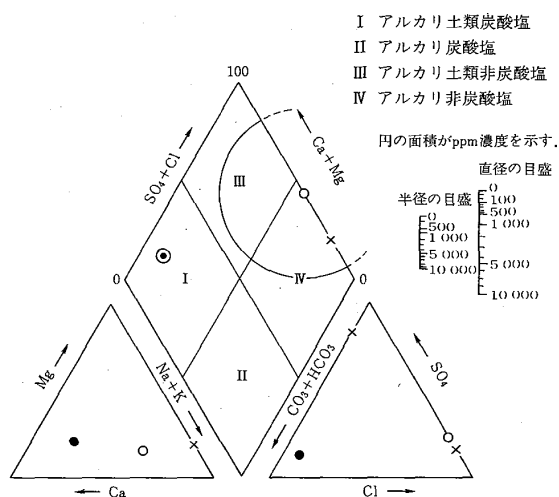


図 3.7.2 トリリニアダイアグラムの表示例

(財)国土開発技術研究センター（1993.3）：地下水調査および観測指針（案）（P214）

3.8 地下水観測（自記水位計）

調査地点において定期的に水位観測を行った。測定方法は、自記水位計を使用した自動水位観測と、触針式水位計を使用した手動水位観測の2通りを行った。

自記水位観測は、観測孔を設置する10箇所を対象とし、水位測定間隔は10分に1回、1ヶ月間の水位データを連続的に取得した。

触針式水位観測は、観測孔（10箇所）の他、桂川と曾我谷川の河川水位の測定に利用した。

自記水位計は、応用地質（株）製のS&DL水位計（MODEL-4677 測定レンジ10m）を10台使用した。この水位計は水面の昇降に伴って水中に設置した圧力計の受圧部が受ける水压を測定して水位を求める水压式水位計である。圧力センサーとデータロガーが一体化しているのが特長となっている。水位計の仕様を図3.8.2に示す。観測孔にホルダーを固定させることから、定期観測時の触針式の水

位測定時の基準点（管頭高：PT- mと表示）は図3.8.2（C）に示す位置を基準としている。

触針式水位計の概略図を図3.8.1に示す。電気的な導通を利用した測定器で、1cm単位の目盛がついたテープにより水位を測定する。

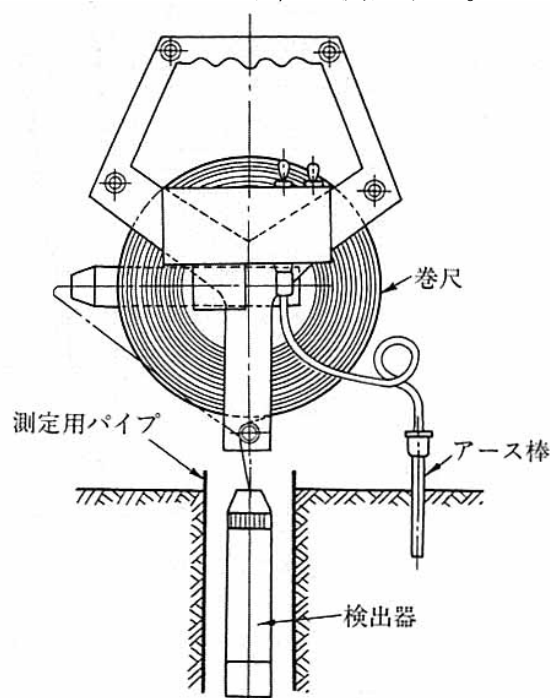
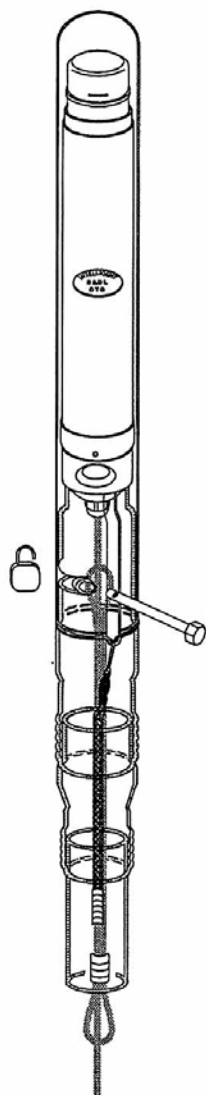
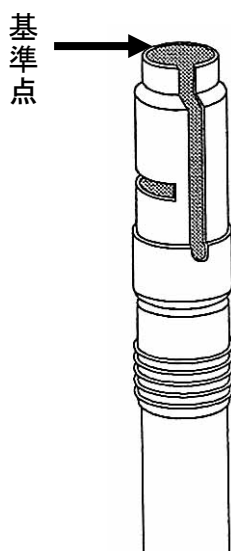


図 3.8.1 触針式水位計の概略図

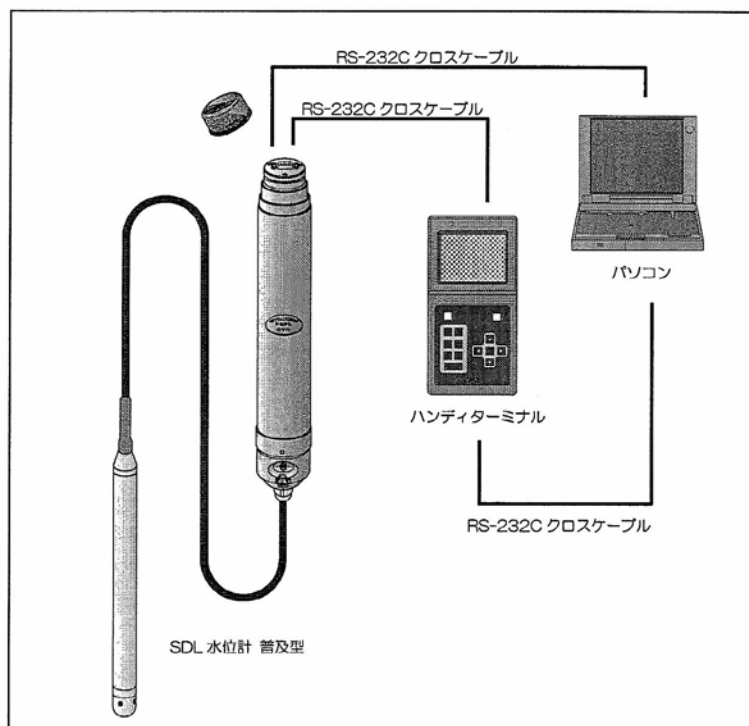
（社）地盤工学会（平成16年6月）：地盤調査の方法と解説（P357）



(A) 設置図



(C) ホルダー設置



(B) システム構成の概要

測定範囲	WL-03	: 0 ~ 3.5 m
	WL-10	: 0 ~ 10 m
	WL-20	: 0 ~ 20 m
	WL-35	: 0 ~ 35 m
測定精度		: ± 0.1 %FS
温度特性		: 0.04 %FS/℃以下
A/D分解能		: 24ビット
測定間隔		: 1分 ~ 10日 (1分単位で設定可能)
メモリ容量		: 512KB (約57000データ)
インターフェース		: RS-232C
ボーレート		: 4800~38400bps (初期設定及び電源ON時は9600bps)
データ長		: 8ビット
パリティ		: なし
ストップビット		: 1 or 2ビット (出荷時の設定2ビット)
フロー制御		: Xon/Xoff、又はなし (Xon/Xoffは、データFORMAT2転送時のみ適用、 電源ON時は、Xon/Xoff有効)
動作電圧範囲		: 3.0 ~ 9.0V (ケーブルによる電圧降下を含みます)
使用可能電池		
	アルカリ電池	: 単1型 (1.5V) × 3
	リチウム電池 (オプション)	
		: 専用リチウム電池6V (当社指定品、専用アダプターが必要です)
		: 専用リチウム電池9V (当社指定品、専用アダプターが必要です)
消費電流 (電源4.5V時)		
	待機時 (スリープ時)	: 10 μ A (typ.)
	CPU動作時	: 50mA (typ.)
動作温度範囲		
	プローブ部	: 0 ~ 50℃
	電池部	: -30 ~ 60℃ (当社指定リチウム電池使用時)
プローブ外形寸法		: $\phi 25 \times 290$ mm
取り付け適用ケーシング		: VP-40 または、VP-50 (塩ビパイプ)

(D) 仕様一覧

図 3.8.2 自記水位計 (S&DL) 概略図
応用地質 (株) S&DL 水位計普及型 取扱説明書より抜粋

4 既往資料の収集

4.1 地形・地質概要

地形図、地質図等の文献資料を参考に、調査地周辺の地形や地質の特徴について整理する。

地質状況や断層等の構造は、地形の変化として現れることもあり、図 4.1.2 地形分類図、図 4.1.3 周辺地質図を参考にして、調査地周辺の地形・地質の特徴を整理し、表 4.1.1 に示す。

調査地は、亀岡市保津町地内、桂川沿いの平坦地にあたる。地形区分では、氾濫平野に位置しており、地質区分では河床～氾濫性堆積物の沖積層が分布している地域である。

宇津根橋北詰のボーリングデータを図 4.1.1 に示す。位置は図 4.1.3 に明示している。この資料から、調査地の沖積層は礫質土で構成されており層厚 15m 程度と考えられる。

沖積層の下位には段丘堆積物相当層、大阪層群上部相当層、基盤岩（丹波層群）が分布している。

段丘堆積物相当層は、図 4.1.3 の低位段丘堆積物、中位段丘堆積物、高位段丘堆積物をあわせたものである。礫質土で構成されており、深度 15m～71m に分布している。

三宅浄水場系の水源井戸の深さは、40m 前後であり、沖積層、段丘堆積物相当層の分布域に設置されている。また、取水層は段丘堆積物相当層を対象としている。

表 4.1.1 調査地周辺の地形・地質の特徴

地質年代			地層名	地形区分	特徴
新生代	第四紀	完新世	沖積層	低地－ 谷底平野	・地形分類図では、低地－谷底平野・氾濫平野に区分される。 ・調査地付近では、標高89m前後の平坦地形を形成している。 ・主に、桂川に沿って分布し、1500m前後の幅を有する。 ・砂礫主体で構成されている。 ・宇津根橋北詰地点での層厚は、15m程度と考えられる。
		更新世	扇状地・低位 段丘堆積物	低地－ 扇状地	・地形分類図では、低地－扇状地に区分される。 ・調査地付近では、東方に分布する牛松山に代表される断層面に沿って複合扇状地 が形成されている。 ・山地から桂川（西方）に向かって傾斜地形を形成している。 ・主に山地から供給された礫で構成されている。
				低位段丘	・地形分類図では、台地・段丘－低位段丘に区分される。 ・調査地付近では、亀岡IC付近を中心とした地域に分布する。 ・標高97m前後の平坦地形を形成している。 ・亀岡市街地付近は、層厚30m程度の礫層で構成されている。 ・千代川から南方の大井町、蕪田野町にかけては表層部に5～10mの粘土層が分布し ている。 ・宇津根橋北詰地点では、中位段丘堆積物、高位段丘堆積物も含め深度15m～71mに 分布する。
			大阪層群上部 相当層	台地	・地形分類図では、台地・段丘－台地に区分される。 ・調査地付近では、南東方向の篠町付近にわずがであるが分布している。 ・山裾部に分布しており、標高106m前後で緩傾斜地形を形成している。層厚は約 30m。 ・宇津根橋北詰地点では、深度71m～168mに分布する。 ・礫、砂、粘土で構成されている。
	中生代	白亜紀	行者山火口閃 緑岩	山地	・調査地から北西方向の行者山周辺に行者山花崗閃緑岩が分布している。 ・地形分類図では、山地に区分される地域であり、山頂標高は431mを有する。 ・分布域は、行者山周辺に限られ、局所的である。 ・花崗閃緑岩や花崗岩で構成されている。
	三疊紀－ ジュラ 紀後期	丹波層群 Ⅰ型地層群	山地	・亀岡盆地周辺の山地に主体をなして分布している。 ・調査地東方の牛松山は山頂標高は636mを有する。 ・頁岩及び泥質混在岩主体で構成されている。 ・宇津根橋北詰地点では、深度168m以深に分布している。	

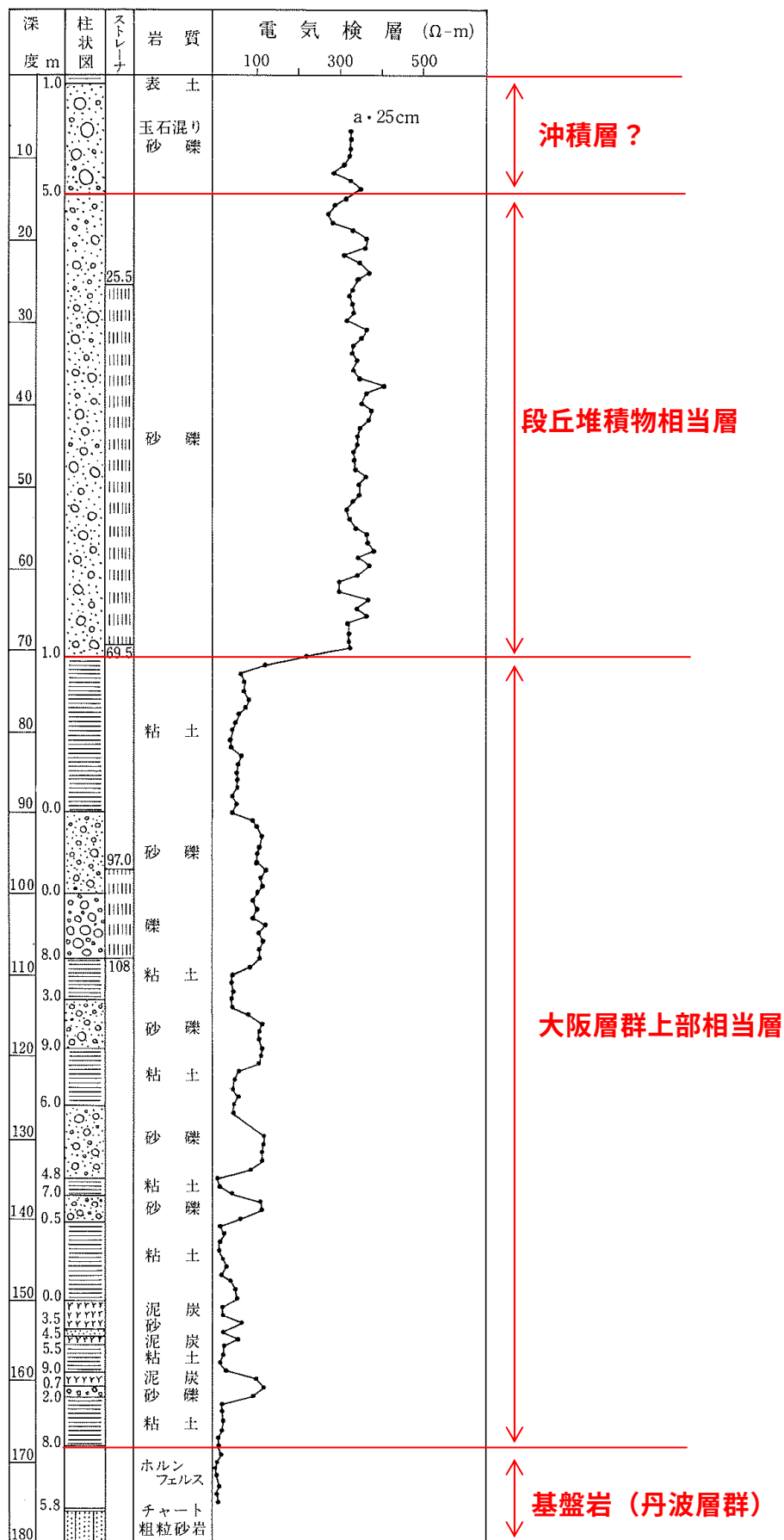
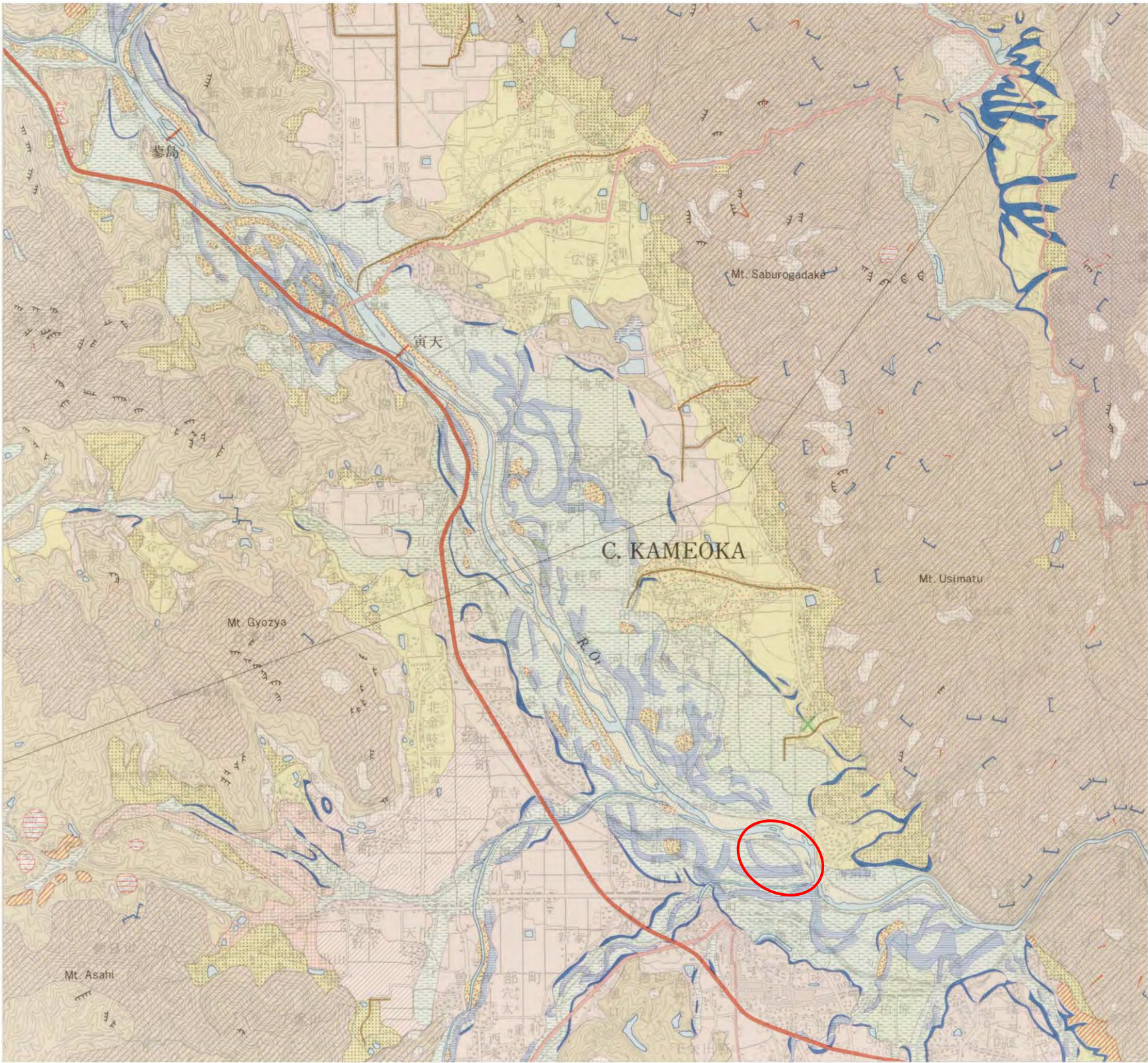


図 4.1.1 宇津根橋北詰における試錐柱状図

地質調査所 (平成元年) : 京都北西部の地質 (P57)



○：調査地

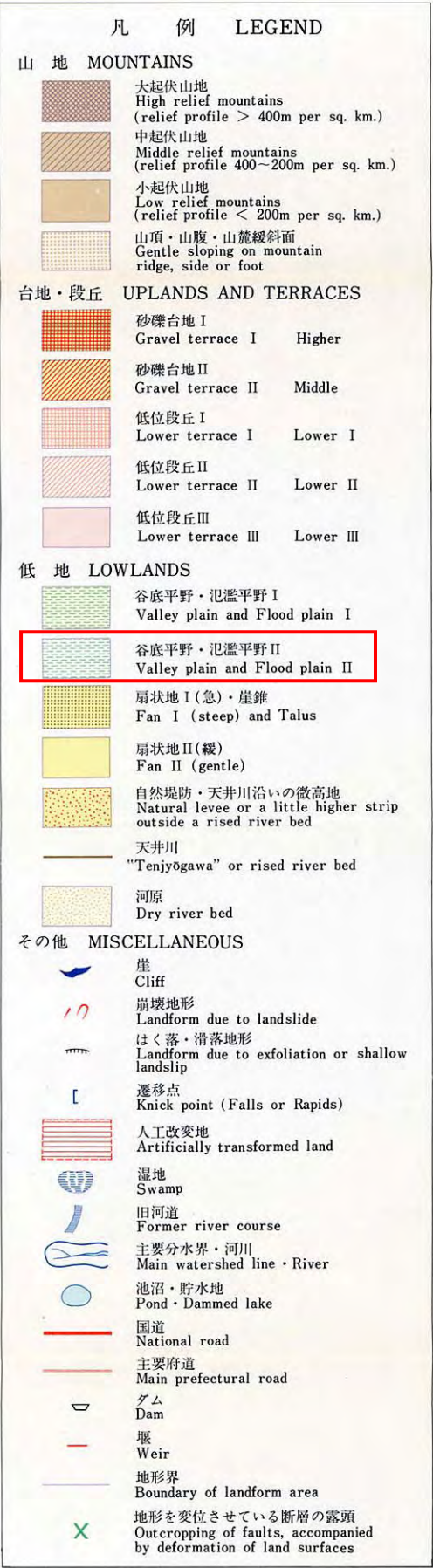
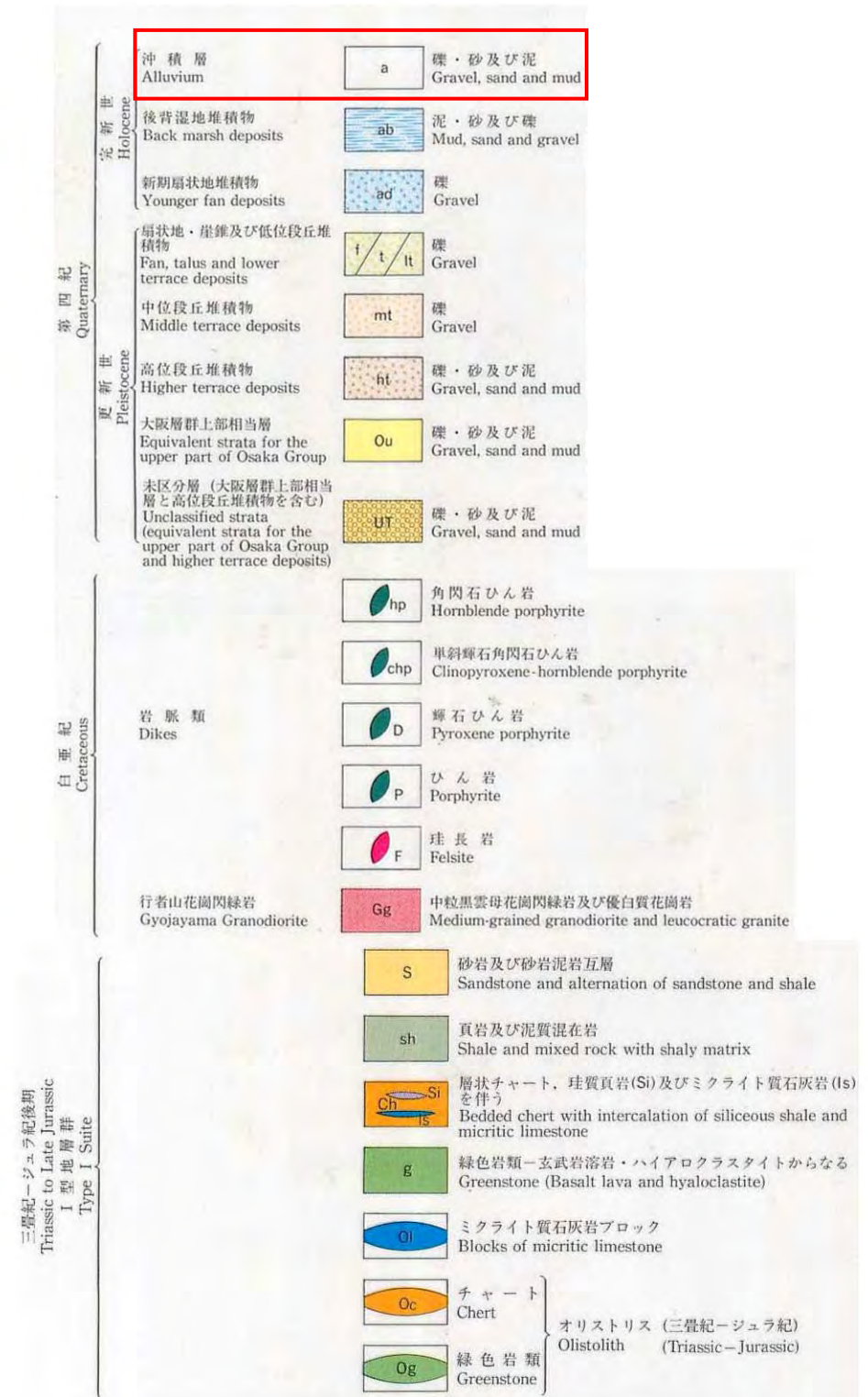
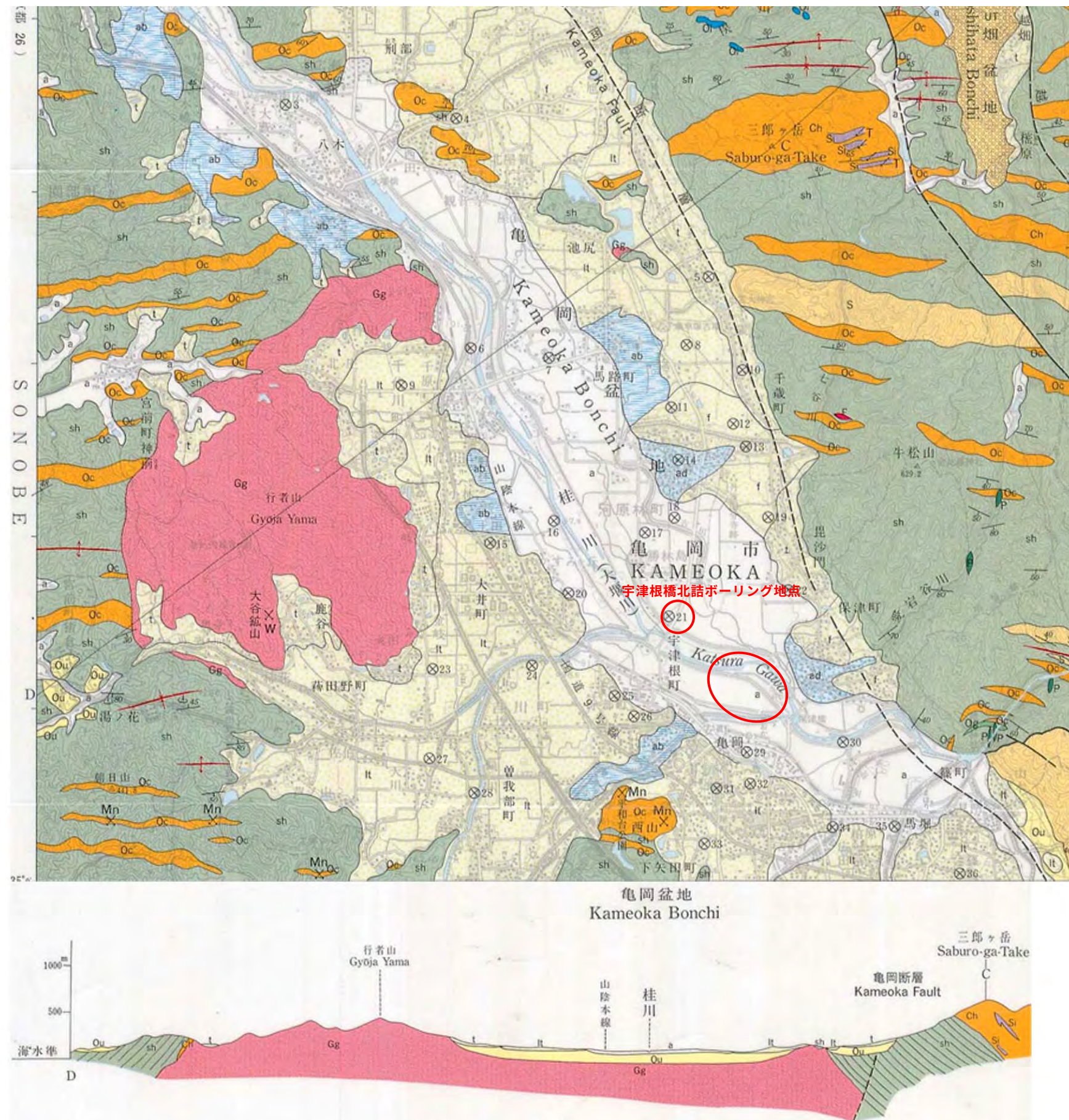


図 4.1.2 地形分類図 (S=1/50,000)
京都府発行 5 万分の 1 地形分類図「京都西北部」使用



○：調査地

図 4.1.3 周辺地質図 (S=1/50,000)
地質調査書発行 5 万分の 1 地質図幅「京都西北部」使用

4.2 水質概要

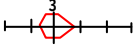
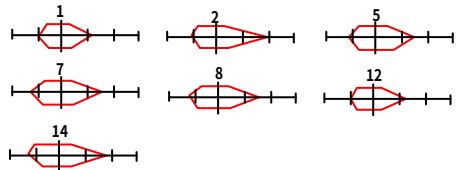
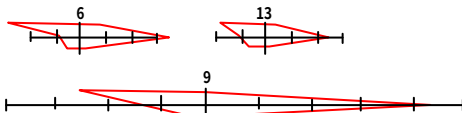
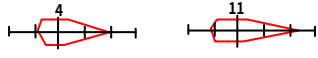
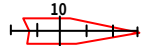
調査地周辺で行われた深井戸の水質分析結果と地下水起源を考察した文献を参照する。ヘキサダイヤグラムのパターンと地層分布状況との関係を明確にするため、添付されている水質組成図と地質図を重ねあわせ図 4.2.1 に示す。また、水質起源区分と各区分の水質の特徴を表 4.2.1 に整理した。

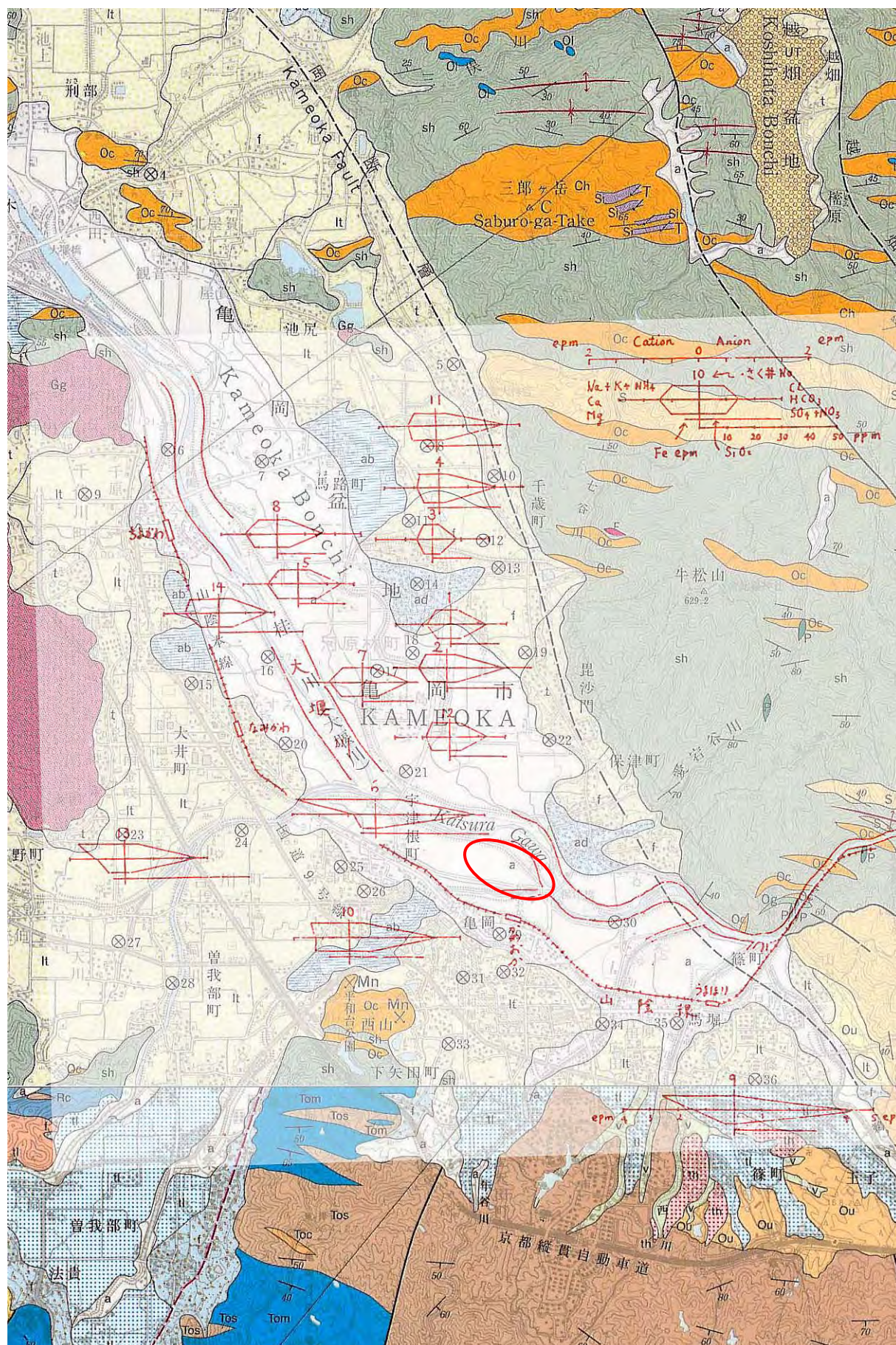
桂川に沿った地域は、桂川起源に区分されており、特に左岸側に多く存在する。イオン濃度が低く、鉄の溶存量が極めて少なく、水質が良いことが特徴である。

調査地の西方及び南方は、南部丘陵に分布する地下水として区分されており、大阪層群上部相当層から取水していると考えられている。Na-HCO₃型の組成を示し、イオン濃度が高く、鉄を多く含み、水質が悪いことが特徴である。

参考文献：京都府亀岡盆地の水理地質について 清水欣一・黒川睦生
陸水学会誌 35 巻 2 号 1974 (P82-87)

表 4.2.1 水質パターンによる起源の区分

水質パターン	区分		特徴
	活動の 活発な 地下水	七 谷 川 起 源	・HCO ₃ の含有量の大小はあるが、桂川起源と近似した組成を示す。 ・溶存酸素 (DO) が多く、鉄の溶存量がきわめて少ない。
		桂 川 起 源	・HCO ₃ の含有量の大小はあるが、七谷川起源と近似した組成を示す。 ・溶存酸素 (DO) が多く、鉄の溶存量がきわめて少ない。
	停滞性 の地下 水	分南 布部 のす 丘 る 陵 も に	・溶存酸素 (DO) が少なく鉄が多い。 ・Na-HCO ₃ 型の組成を示す。 ・大阪層群上部相当層から取水しているものと考えられている。
		分北 布部 の山 地寄 り に	・鉄を5ppm以上含む。 ・形のうえでは桂川起源の地下水と類似するが、溶存酸素 (DO) が全く存在しない。 ・No.11は硫化水素臭を有する。
	中間的地下 水		・鉄を5ppm以上含む。 ・上記の何れのグループにも属さず、混合型とみなされている。



○：調査地

図 4.2.1 ヘキサダイアグラムと地質図の対比 (S=1/50,000)
地質調査書発行 5 万分の 1 地質図幅「京都西北部」「京都西南部」使用